Journal of Horticultural Science
Vol. 34, No.3, Fall 2020, P. 493-504
ISSN: 2008 - 4730

نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص. ۵۰۴-۴۹۳
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

مقاله علمی-پژوهشی

تأثیر خشک کردن مادون قرمز بر خصوصیات کیفی میوه سماق (*Rhus coriaria* L.)

علی حسنی[1]- محمد هادی خوش تقاضا[2]*- محمد تقی عبادی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۱۰

چکیده

در این تحقیق تاثیر روش خشک‌کردن مادون قرمز بر زمان خشک‌کردن و خصوصیات کیفی میوه سماق (تغییرات رنگ کل، میزان فنولیک کل، اسیدهای آلی و ویتامین ث) بررسی شد. خشک‌کن مادون قرمز در سه سطح شدت تابش (۰/۲، ۰/۳ و ۰/۵ وات بر سانتی‌متر مربع) و سه سطح سرعت هوا (۰/۵، ۱ و ۱/۵ متر بر ثانیه) مورد استفاده قرار گرفت. برای یافتن نقاط بهینه از نظر کمترین زمان خشک‌شدن و تغییرات رنگ کل (ΔE) و بیشترین خواص شیمیایی در طی خشک‌کردن میوه سماق از روش سطح پاسخ (RSM) استفاده شد. نتایج نشان‌دهنده تاثیر معنی‌دار شدت تابش و سرعت هوا بر صفات مورد بررسی میوه سماق به غیر از محتوای فنولیک کل بود. کمترین زمان خشک‌شدن مربوط به تیمار ۰/۵ W/cm^2 × ۱/۵ m/s بود. کمترین تغییرات رنگ کل و بیشترین میزان اسیدهای آلی در تیمار ۰/۲ W/cm^2 × ۱/۵ m/s و بیشترین میزان ویتامین ث در تیمارهای ۰/۲ W/cm^2 × ۱ m/s و ۰/۳ W/cm^2 × ۱ m/s به دست آمد. بهترین نقطه خشک‌کردن سماق در تیمار شدت تابش ۰/۳ W/cm^2 و سرعت هوای ۰/۵ m/s با شاخص مطلوبیت ۰/۷۱ به دست آمد. در نهایت نتایج نشان داد که خشک‌کردن به روش مادون قرمز علاوه بر کاهش زمان خشک‌کردن روش مناسبی برای حفظ خواص شیمیایی و تغییرات رنگ کل میوه سماق است.

واژه‌های کلیدی: اسیدهای آلی، رنگ کل، محتوای فنولیک کل، ویتامین ث

مقدمه

سماق (*Rhus coriaria* L.) گیاهی از خانواده Anacardiaceae است که در سواحل ایسلند، مدیترانه، ایران و افغانستان رشد می‌کند و حاوی فلاوونوس، فنولیک اسید، سیتریک اسید و تارتاریک اسید است (۹ و ۲۷). سماق به عنوان ادویه در مناطق مختلف و به روش‌های مختلف آماده و مورد استفاده قرار می‌گیرد (۳۱). خشک‌کردن یکی از قدیمی‌ترین روش محافظت مواد غذایی است و از آنجا که باعث کاهش فعالیت آب، کاهش فعالیت‌های میکروبی و کمترین تغییرات فیزیکی و شیمیایی در طی فرایند نگهداری می‌شود، یکی از عمومی‌ترین روش‌هایی است که در بهبود نگه‌داری مواد غذایی می‌توانند استفاده شود (۱). خشک‌کردن به دلیل تغییرات نامطلوب فیزیکی و شیمیایی که در اثر حرارت و حذف آب در ماده غذایی به وجود می‌آورد یکی از فرایندهای دشوار در صنعت غذا است (۳۹). تحقیقات متعددی نشان داده است که روش خشک‌کردن بر درصد و اجزای اسانس در گیاهان دارویی و معطر تأثیرگذار است (۱۹، ۲۳، ۳۱ و ۳۳). روش‌های مختلفی برای خشک‌کردن وجود دارد و مناسب بودن آن‌ها را می‌توان از روی بازده انرژی، زمان خشک‌کردن، حفظ مواد معطر و خواص کیفی دیگر محصول، بسته به تقاضای بازار، تشخیص داد. تعادل میان این فاکتورها اغلب برای رسیدن به اهداف اقتصادی ضروری است (۳۶).

روش‌های سنتی و قدیمی خشک‌کردن (روش سنتی سایه یا آفتاب) و خشک‌کردن با هوای گرم به دلیل استفاده از حداقل امکانات و دستگاه‌های ارزان قیمت، هنوز هم از مهمترین روش‌های مورد برای خشک‌کردن گیاهان هستند (۲۳). ولی در سال‌های اخیر روش‌های جدید خشک‌کردن جایگزین روش‌های سنتی و قدیمی شده‌اند که برخی از آن‌ها عبارتند از: خشک‌کردن انجمادی، خشک‌کن مایکروویو، خشک‌کن مادون قرمز و خشک‌کردن تحت خلاء (۲۵). استفاده از خشک‌کن‌های مادون قرمز در سال‌های اخیر رونق زیادی داشته و به دلیل هزینه پایین، تجهیزات ساده و ارزان قیمت آن، در کشورهای در حال توسعه بیشتر مورد توجه قرار گرفته است (۲۰). خشک‌کردن با تابش مادون قرمز فرایندی است که در آن مواد مرطوب به وسیله تابش مادون قرمز گرم می‌شوند. تابش مادون قرمز

۱ و ۲- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و استاد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: khoshtag@modares.ac.ir)
۳- استادیار، گروه علوم باغبانی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
DOI: 10.22067/jhorts4.v34i3.85009

یک نوع تابش الکترومغناطیسی است که طول موج آن بین ۰/۷۶ – ۴۰۰ میکرومتر است (۲۱). در خصوص مزایای کاربرد صنعتی روش مادون قرمز برای خشک کردن محصولات کشاورزی می‌توان به موارد مهم زیر اشاره نمود (۱۳): ۱– راندمان بالای تبدیل انرژی الکتریکی به گرما و منبع جایگزین مناسب برای انرژی گرمایی. ۲– نفوذ تابش به طور مستقیم به داخل محصول بدون گرم کردن محیط اطراف آن. ۳– دمای یکنواخت در محصول در حال خشک‌شدن.

در تحقیقی نمونه‌های نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) و جعفری (*Petroselinum crispum* L.) خشک‌شده به وسیله خشک‌کن مادون قرمز اجزای اسانس را در درصد بالایی حفظ کرد (۲۸). در تحقیق دیگری نمونه‌های برگ بو (*Laurus nobilis* L.) به وسیله خشک‌کن مادون قرمز، آون و مایکروویو خشک شدند. نتایج حاکی از آن بود که نمونه‌های خشک‌شده به وسیله خشک‌کن مادون قرمز دارای درصد اسانس بالاتری نسبت به نمونه‌های خشک‌شده به وسیله آون و مایکروویو بودند (۱۰). در تحقیقی که بایسال و همکاران بر روی خشک‌کردن سیر (*Allium sativum* L.) و هویج (*Daucus carota* L.) با استفاده از خشک‌کن‌های مادون قرمز، هوای گرم و مایکروویو داشتند به این نتیجه رسیدند که خشک‌کن مادون قرمز از نظر برخی ویژگی‌های کیفی نسبت به دو خشک‌کن دیگر برتری داشته است (۴). همچنین گزارش‌های متعددی در رابطه با استفاده از خشک‌کن مادون قرمز برای سایر محصولات کشاورزی مانند توت (۱۶)، سیب‌زمینی و هویج (۱۲) همچنین برنج (۷) گزارش شده است.

با توجه به اهمیت گیاهان دارویی و ادویه‌ای و تاثیر روش‌های مختلف خشک‌کردن بر کمیت و کیفیت این گونه‌های ارزشمند و عدم وجود مطالعه‌ای در رابطه با روش خشک‌کردن مناسب میوه سماق، (سماق به دلیل استفاده بیشتر در صنایع آرایشی ، رنگ آمیزی، حفظ مواد غذایی، روش‌های دامپزشکی و فناوری های پردازش پوست از اهمیت اقتصادی چشمگیری در سطح جهان برخوردار است (۱۷)). این مطالعه با هدف بررسی تاثیر روش خشک‌کردن مادون قرمز بر زمان خشک‌شدن، تغییرات رنگ و خصوصیات فیتوشیمیایی (محتوای فنولیک کل، اسیدهای آلی و ویتامین C) میوه سماق انجام شد.

مواد و روش‌ها

تهیه نمونه سماق

خوشه‌های میوه سماق همراه با شاخه‌ها و برگ‌های آن در شهریور ماه سال ۱۳۹۸ از جنگل‌های شهرستان سردشت در آذربایجان غربی کشور ایران تهیه گردید و سپس به آزمایشگاه خواص بیوفیزیک محصولات کشاورزی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس تهران منتقل شد. بخش مورد نیاز برای انجام پژوهش (میوه‌های سماق) بعد از جداسازی کامل از خوشه‌ها و قسمت‌های اضافی جهت خشک‌کردن و انجام آزمایش‌های مورد نظر استفاده شد.

خشک‌کن مادون قرمز

برای خشک‌کردن میوه‌های سماق با سامانه مادون قرمز از سه سطح شدت تابش لامپ مادون قرمز (۰/۲، ۰/۳ و ۰/۵ وات بر سانتی‌متر مربع) و همچنین سه سرعت هوا (۰/۵، ۱ و ۱/۵ متر بر ثانیه) که مناسب گیاهان دارویی است، استفاده شد (۳۶). جهت تنظیم شدت تابش از دو عدد لامپ مادون قرمز که بر روی دستگاه نصب شده بود، استفاده گردید. فاصله قرارگیری لامپ‌ها نسبت به محصول به گونه‌ای تنظیم شد که شدت تابش‌های ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۵ وات بر سانتی‌متر مربع ایجاد گردید (به ترتیب در فواصل ۳۶، ۲۶ و ۱۸ سانتی‌متر از سطح محصول). برای اندازه‌گیری سرعت هوای خروجی از محفظه خشک‌کن از یک بادسنج توربینی (Anemometer, Lutron- YK, 80AM, China) با دقت ۰/۱ m/s استفاده شد.

در این پژوهش از خشک‌کن مادون قرمز ساخت گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه تربیت مدرس استفاده شد (۲۱). برای آنالیز سینتیک انتقال جرم، تغییرات جرم در طی خشک‌شدن هر دو دقیقه توسط ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ ثبت می‌گردید. جهت انجام این کار، سینی حاوی نمونه که داخل خشک‌کن قرار داشت توسط میله‌ای به ترازو دیجیتالی که در پایین خشک‌کن قرار داشت متصل بود. ترازو دارای پورت اتصال به کامپیوتر بود که می توانست وزن محصول را در فواصل زمانی از طریق برنامه کامپیوتری نمایش دهد و به طور پیوسته اندازه‌گیری و ثبت نماید. برای تعیین محتوای رطوبتی اولیه، ۳ نمونه ۵۰ گرمی در یک آون در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس قرار داده شد و بعد از سه ساعت نمونه‌ها از آون خارج و توزین گردید و در نهایت رطوبت محصول بر پایه تر محاسبه شد (۸). محتوای رطوبتی اولیه میوه های سماق تقریباً ۱۷ درصد بر پایه وزن تر بود. خشک‌شدن تا زمانی که رطوبت محصول به ۷ درصد (بر پایه تر) برسد ادامه پیدا کرد (۳۸).

تغییرات کلی رنگ (ΔE)

برای بررسی تغییرات رنگ گیاه سماق در طی خشک‌کردن از رنگ‌سنج (Hunterlab مدل Color Flex) استفاده گردید. مولفه‌های رنگی در فضای رنگی (L^* a^*b^*) نشان داده شد. میزان روشنایی یا L^* از رنگ سیاه (۰) تا سفید (۱۰۰)، میزان قرمزی یا a^*، از سبز (۱۲۰–) تا قرمز (۱۲۰+) و میزان زردی یا b^* از آبی (۱۲۰–) تا زرد (۱۲۰+) متغیر هستند. در نهایت تغییرات رنگ کل (ΔE) نسبت به نمونه تازه با استفاده از رابطه (۱) محاسبه گردید:

$$\Delta E= \sqrt{(L_0 - L^*)^2 + (b_0 - b^*)^2 + (a_0 - a^*)^2} \qquad (۱)$$

در این رابطه، ΔE تغییرات کلی رنگ است و L_0 و a_0 و b_0 میزان روشنایی، قرمزی و زردی تصویر اولیه (نمونه های تازه به عنوان شاهد) هستند که به ترتیب دارای مقادیر ۵۹/۹۶، ۳/۲۱- و ۱/۷۴ می‌باشند.

برای اندازه‌گیری محتوای فنولیک کل، از معرف فولین سیوکالتیو به وسیله دستگاه اسپکتروفوتومتر ساخت کشور کره جنوبی با مدل Smart Spec Flusساخت شرکت سامسونگ استفاده شد (۲۱). طول موج‌های به دست آمده از دستگاه اسپکتروفوتومتر (Y) در رابطه (۲) گذاشته، و در نهایت غلظت محتوای فنولیک کل (x) به دست می آمد:

$$Y= 0.0003x - 0.245 \quad (۲)$$

در این رابطه، x، محتوای فنولیک کل نمونه ها بر اساس میلی‌گرم اسید گالیک بر گرم وزن خشک گیاه (mg/g DW) بیان شد.

ویتامین ث

برای اندازه گیری ویتامین ث از روش تیتراسیون استفاده شد (۲۶). به این منظور برای استخراج اسیدآسکوربیک از اسید - متافسفریک استفاده شد. تیتراسیون با ماده رنگی ۲ و ۶ دی کلروفنل اندوفنل تا حصول رنگ صورتی ادامه یافت. مقدار اسیدآسکوربیک برحسب میلی‌گرم در صد گرم نمونه از رابطه (۳) بدست آمد:

$$\%\ Vitamin\ C= \frac{(V_0-V_1)\times m_1}{m_0} \times 100 \quad (۳)$$

m_0: جرم آزمونه برحسب گرم در آزمایش تیتراسیون (۵ گرم سماق)

m_1: جرم اسید آسکوربیک برحسب میلی‌گرم

v_0: حجم محلول ماده رنگی برحسب میلی‌لیتر

v_1: حجم محلول ماده رنگی برحسب میلی‌لیتر، در آزمون شاهد

اسیدهای آلی

برای اندازه‌گیری اسیدهای آلی از روش تیتراسیون استفاده گردید (۱۵). در این روش مخلوط به دست آمده باید به رنگ صورتی پایدار در آید و یا pH =۸/۲ برسد. مقدار خالی شده حجم داخل پیپت برای هر عصاره خوانده شده و در رابطه زیر (۴) قرار داده شد. عدد به دست آمده مقدار اسیدهای آلی میوه سماق را بیان می کند. (به دلیل بالا بودن میزان اسیدهای آلی در سماق رقیق سازی با آب دیونیزه تا ۱۰ برابر انجام گرفت).

$$TA=\frac{(V)(n)(meq.wt)(100)}{(1000)(v)} \quad (۴)$$

V: سدیم هیدروکسید استفاده شده در آزمایش بر حسب میلی‌لیتر

n: نرمالیته محلول سدیم هیدروکسید

Meq.Wt: جرم سدیم هیدروکسید برحسب میلی‌گرم

v: حجم نمونه برحسب میلی‌لیتر

تجزیه و تحلیل آماری

آزمایش‌ها در قالب فاکتوریل بر پایه‌ی طرح کاملاً تصادفی، با استفاده از نرم‌افزار SPSS مورد بررسی قرار گرفتند. همچنین مقایسه میانگین با استفاده از آزمون دانکن برای هر تیمار که شامل سه شدت تابش و سه سرعت هوا در سه تکرار بود، در سطح احتمال یک درصد انجام گرفت. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم گردید.

بهینه‌سازی

منظور از بهینه‌سازی، یافتن شرایطی است که در آن پاسخ‌ها (متغیرهای وابسته) به سمت هدف مورد نظر (کمترین یا بیشترین مقدار) سوق داده شوند. در این تحقیق بهینه‌سازی بر اساس (بیشترین میزان فنولیک کل، اسیدهای آلی و ویتامین ث و کمترین زمان خشک‌شدن و تغییرات رنگ کل (ΔE) انجام گرفت. به منظور یافتن حالت‌های بهینه، از روش سطح پاسخ[1] (RSM) استفاده شد. با کمک این طرح آماری کلیه ضرایب مدل رگرسیون درجه دوم و اثر متقابل فاکتورها، قابل برآورد هستند (۵). در روش سطح پاسخ از طرح مرکب مرکزی (CCD)[2] استفاده شد. نقاط بهینه بر اساس شاخص مطلوبیت تفکیک شدند ، بالاترین شاخص مطلوبیت بدست آمده معرف بهترین تیمار خشک‌کن است. یافتن نقاط بهینه با استفاده از نرم‌افزار Design Expert 10 انجام شد.

نتایج و بحث

زمان خشک‌شدن

مطابق جدول ۱ اثر شدت تابش لامپ های مادون قرمز و سرعت هوای ورودی بر زمان خشک‌شدن نمونه ها در سطح ۱ درصد معنی دار شده اند. معادله (۵)، مدل تغییرات زمان خشک‌شدن سماق را در رابطه با پارامترهای مستقل خشک‌کن مادون قرمز نشان می‌دهد:

$$F = 1.37505 - 0.59048 \times I + 0.198 \times V - 2.124\ I \times V - 14.325 \times I^2 + 1.200 \times V^2 \qquad R^2=0.9 \quad (۵)$$

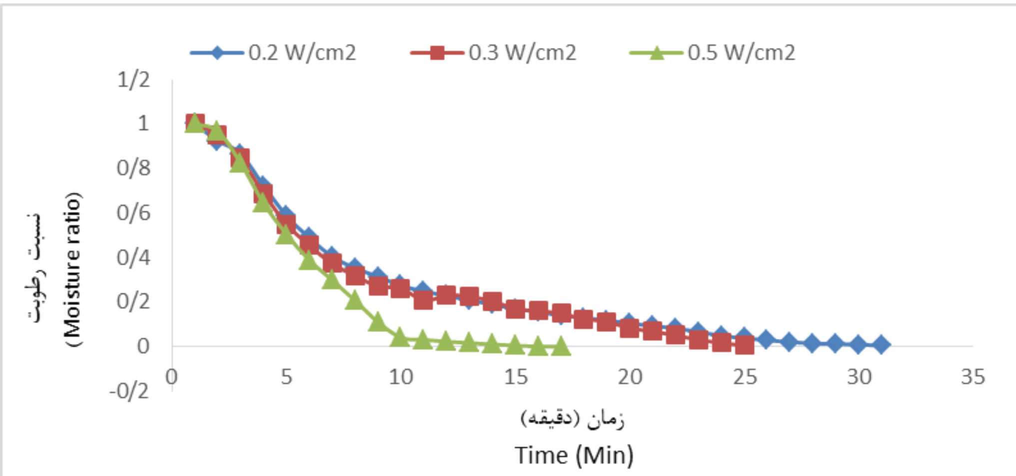
در این رابطه، F: زمان خشک‌شدن (min)، I: شدت تابش (W/cm^2) و V: سرعت جریان هوا است. علامت مثبت بیانگر همسو بودن و علامت منفی نشان از غیر همسو بودن با خروجی هستند.

با کاهش فاصله قرار گیری لامپ‌ها، شدت تابش افزایش و در نتیجه زمان خشک‌شدن کاهش پیدا کرده است. به طوری که شدت تابش ۰/۵ W/cm^2 نسبت به شدت تابش ۰/۲ W/cm^2 باعث افزایش

1- Respond Surface Methodology
2- Centered Central Composite Design

میزان خشک‌شدن و در نتیجه کاهش ۴۹ درصد زمان خشک‌شدن میوه سماق شده است. بیشترین و کمترین زمان خشک‌شدن به ترتیب مربوط به تیمار با شدت تابش ۰/۲ W/cm^2 و سرعت هوای ۰/۵ m/s و ۰/۵ W/cm^2 و سرعت هوا ۱/۵ m/s به ترتیب ۷۰ و ۳۶ دقیقه بود. این نتیجه منطبق با یافته های (۲۸) می باشد، چرا که با افزایش شدت تابش لامپ (کاهش فاصله نمونه ها از منبع حرارتی)، سرعت خشک‌کردن افزایش می‌یابد. در تحقیقی تاثیر روش‌های مختلف خشک‌کردن پاششی و انجمادی با غلظت‌های ۱۰ و ۱۲ درصدی مالتودکسترین بر روی میوه سماق انجام گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش دما، سرعت خشک‌کردن محصول افزایش پیدا کرد. هم‌چنین نتایج بهینه‌سازی نشان داد که خشک‌کن انجمادی بر اساس فاکتورهای زمان خشک‌کردن، تغییرات رنگ کل (ΔE)، میزان خاکستر و فعالیت آب بود (۶). با افزایش توان لامپهای مادون قرمز، زمان خشک‌کردن به دلیل افزایش گرادیان حرارتی در داخل جسم و در نتیجه افزایش سرعت تبخیر رطوبت محصول کاهش یافت (۲). با توجه به شکل ۱ با افزایش شدت تابش (کاهش فاصله نمونه لامپ ها)، زمان خشک‌شدن کاهش پیدا کرد. به طوری که شدت تابش ۰/۵W/cm^2 نسبت به شدت تابش ۰/۲ W/cm^2 باعث افزایش میزان خشک‌شدن و در نتیجه کاهش ۴۹ درصدی زمان خشک‌شدن میوه سماق شد. بیشترین و کمترین زمان خشک‌شدن برابر با ۷۰ و ۳۶ دقیقه بود که به ترتیب مربوط به تیمارهای با شدت تابش W/cm^2 ۰/۲ و سرعت هوای ورودی ۰/۵ متر بر ثانیه و ۰/۵ W/cm^2 و سرعت هوای ورودی ۱/۵ متر بر ثانیه است. این نتیجه منطبق بر یافته‌های محققان دیگر (۳۳) می‌باشد، چرا که با افزایش شدت تابش مادون قرمز، سرعت خشک‌کردن افزایش می یابد. این امر به دلیل افزایش دمای محفظه خشک کن است که انتقال جرم را سریعتر انجام می دهد و باعث کاهش زمان خشک‌کردن می شود (۳۰). افزایش شدت تابش مادون قرمز سبب بالا رفتن دمای نمونه ها می‌گردد، در نتیجه رطوبت با سرعت بیشتری از محصول خارج می گردد. با توجه به شکل ۱ می‌توان نتیجه گرفت که در ابتدای فرآیند خشک‌شدن، محصول رطوبت بیشتری از دست می دهد اما بعد از گذشت زمان، خشک‌شدن محصول کاهش می‌یابد. بیشترین درصد رطوبت محصول در بیست دقیقه اول فرایند خشک‌شدن صورت گرفته است. در تحقیقات دیگر نیز نتایج مشابهی به دست آمد. در تحقیقی بر روی خشک‌کردن برگ اناریجه با استفاده خشک کن مادون قرمز، به این نتیجه رسیدند که در ابتدای فرایند خشک‌کردن، با توجه به اینکه رطوبت اولیه محصول زیاد بوده و نرخ کاهش رطوبت بیشتر است محصول زودتر خشک شده است ولی با گذشت زمان چون محتوای رطوبت محصول کاهش می یابد، به طور طبیعی میزان خشک‌شدن هم کاهش می یابد (۳۸). این روند در تحقیقات سایر محققان نیز دیده می شود (۳).

مطابق جدول ۱ اثر شدت تابش لامپ های مادون قرمز و سرعت هوای ورودی بر زمان خشک‌شدن نمونه ها در سطح ۱ درصد معنی‌دار شده‌اند. ضریب تغییرات (CV) دارای مقدار کمی ۵/۴۵ می‌باشد و در نتیجه آزمایش از دقت مناسبی برخوردار بوده است. نتایج مقایسه میانگین زمان نهایی خشک‌شدن در جدول ۲ آورده شده است. مطابق این جدول در سطح احتمال یک درصد، در شدت تابش‌ها (۰/۲، ۰/۳ و ۰/۵ وات بر سانتی‌متر مربع) و سرعت های هوا (۰/۵، ۱ و ۱/۵ متر بر ثانیه) اختلاف معنی داری وجود دارد. در واقع کلیه تیمارها از نظر زمان خشک شدن با هم اختلاف معنی‌داری داشتند.



شکل ۱- خشک شدن سماق در خشک کن مادون در شدت تابش های مختلف و سرعت هوای m/s

Figure 1- Sumac fruit drying in an infrared dryer at different intensities of radiation and air speed of 0.5 m/s

تغییرات رنگ کل (ΔE)

نتایج آنالیز واریانس (جدول ۱) نشان می‌دهد که خشک‌کن مادون قرمز بر تغییرات رنگ کل سماق در سطح یک درصد معنی‌دار است همچنین اثرات متقابل دو فاکتور نیز در سطح یک درصد بر تغییرات رنگ کل معنی‌دار شده است. معادله (۶)، مدل تغییرات رنگ کل را در رابطه با پارامترهای خشک‌کن مادون قرمز نشان می‌دهد. در این رابطه ΔE تغییرات رنگ کل و I شدت تابش لامپ‌های مادون قرمز (W/cm^2) می‌باشد:

$$\Delta E = 7700+ 35666.66 \times I + 45852 \times I^2 + 1.257\ V \times I \quad R^2 = 0.79 \qquad (۶)$$

با توجه به بزرگتر بودن میانگین مربعات شدت تابش نسبت به سرعت هوا این نتیجه به دست می‌آید که تاثیر شدت تابش لامپ‌ها بیشتر از سرعت هوا بوده است. طبق نتایج مقایسه میانگین ها (جدول ۲) بیشترین تغییرات رنگ کل مربوط به تیمار با شدت تابش ۰/۵W/cm^2 و سرعت هوا ۱/۵ متر بر ثانیه با مقدار ۳/۸۵۷ بوده است. کمترین تغییرات رنگ نیز مربوط به تیمار ۰/۲ W/cm^2 و سرعت هوا ۱/۵ متر بر ثانیه با مقدار ۲/۹۰۴ بوده است. هر چقدر سرعت خشک‌شدن بیشتر و دمای خشک‌کردن (شدت تابش لامپ‌ها کمتر) پایین‌تر باشد رنگ محصول بهتر حفظ می‌شود و مانع از تخریب رنگدانه‌های آن می‌گردد (۱۲). مقایسه میانگین تغییرات رنگ کل برای اثر متقابل سرعت در شدت تابش در جدول (۲) نشان می‌دهد که تیمارهای ۰/۵ × ۰/۵، ۰/۵× ۱ و ۱/۵× ۰/۳ با هم و تیمارهای ۰/۲ × ۱ و۰/۲ × ۱/۵ و دو تیمار ۰/۵ × ۰/۳ و ۱ × ۰/۳ اختلاف معنی‌داری ندارند.

محتوای فنولیک کل

میزان فنولیک کل نمونه‌های خشک‌شده سماق در محدوده (۰/۳– ۱/۳ نانومتر) متغیر بود. نتایج آنالیز واریانس (جدول ۱) نشان داد که اثرات ساده شدت تابش و سرعت هوای ورودی تاثیر معنی‌داری بر میزان فنولیک کل نداشتند. در حالی که اثر متقابل آن‌ها بر میزان فنولیک کل در سطح یک درصد معنی‌دار شد. دلیل آن شاید به این خاطر است که اثر تک تک آنها تاثیر نداشته ولی این دو فاکتور تواما بر فنولیک کل تاثیر می گذارند.

اسیدهای آلی

اثر شدت تابش و سرعت هوا در سطح یک درصد بر مقدار اسیدهای آلی معنی‌دار بود. همچنین اثرات متقابل دو فاکتور نیز در سطح یک درصد معنی دار شده است. معادله (۷)، مدل اسیدهای آلی را در رابطه با پارامترهای خشک‌کن مادون قرمز نشان می‌دهد:

$$D= 0.44362 - 0.54452 \times I + 0.245 \times V - 32.124\ I \times V + 11.235 \times I^2 + 48 \times V^2 \quad R^2=0.78 \qquad (۷)$$

در این رابطه، D، اسیدهای آلی (mg/100g)، و I و V به ترتیب شدت تابش لامپ‌های مادون قرمز (W/cm^2) و سرعت هوا (m/s) را نشان می‌دهند. بیشترین و کمترین میزان اسیدهای آلی میوه سماق به ترتیب مربوط به تیمارهای ۱ m/s و ۰/۲ W/cm^2 و۰/۵ m/s و ۰/۵ W/cm^2 با مقادیر غلظت‌های ۱/۳۸۹ و ۰/۷۸۷ میلی‌گرم بر صد گرم می‌باشند (جدول ۲). با افزایش شدت تابش لامپ‌ها و افزایش زمان قرارگیری محصول در داخل خشک‌کن غلظت اسیدهای آلی کاهش پیدا کرده است. همچنین گیاهان و میوه‌هایی که مواد موثره آن ها در قسمت های سطحی برگ یا میوه است، نسبت به انرژی گرمایی بالا بسیار حساس‌اند و افزایش درجه حرارت (افزایش شدت تابش لامپ‌ها از ۰/۲ به ۰/۳ و ۰/۵ وات بر سانتی‌متر مربع) تاثیر منفی بر مواد فیتوشیمیایی آن‌ها خواهد داشت (۱۸).

جدول ۲ مقایسه میانگین را برای سرعت‌ها و شدت تابش‌های مختلف مادون قرمز نشان می‌دهد. تیمار ۰/۵ W/cm^2 نشان می‌دهد که این تیمار بر روی اسیدهای آلی اثر معنی‌داری ندارد. همچنین تیمارهای ۰/۲ و ۰/۳ وات بر سانتی‌متر مربع با سرعت ۰/۵ m/s نیز اختلاف معنی‌داری با هم ندارند. بین تیمارهای گفته شده (۰/۵ با ۰/۲ و ۰/۳وات بر سانتی‌متر مربع) اختلاف معنی‌دار وجود دارد.

ویتامین ث

متغیر شدت تابش در سطح یک درصد بر مقدار ویتامین ث معنی‌دار بود، اما سرعت هوا اثر معنی‌داری نشان نداد. اثرات متقابل دو فاکتور نیز در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. معادله (۸) مدل ویتامین ث را در برابر پارامترهای مستقل خشک‌کن مادون قرمز نشان می‌دهد. ث نشان‌دهنده میزان ویتامین ث (mg/100g) و I شدت تابش لامپ‌های مادون قرمز (W/cm^2) را نشان می‌دهد:

$$C= - 2.1358 - 3.458 \times I + 1.248 \times I^2 \quad R^2= 0.79 \qquad (۸)$$

جدول ۲ مقایسه میانگین غلظت ویتامین ث را نشان می‌دهد. برای شدت تابش ۰/۵ W/cm^2 و سرعت‌های مختلف هوا، اختلاف معنی‌دار نبود. همچنین بین تیمارهای ۰/۲ و ۰/۳ وات بر سانتی متر مربع و سرعت هوای ۰/۵، ۱ و ۱/۵ متر بر ثانیه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، اما بین سطوح تیمار با شدت تابش‌های مختلف اختلاف معنی‌داری بود. بیشترین غلظت ویتامین ث در این خشک‌کن مربوط به تیمار ۱ m/s و شدت تابش ۰/۲ W/cm^2 با مقدار mg/100g ۰/۳۲۱ است. کمترین غلظت ویتامین ث مربوط به تیمار W/cm^2 ۰/۵ و ۱/۵ m/s می‌باشد. اگر چه مدت زمان خشک‌شدن در این خشک‌کن پایین بوده است ولی شدت تابش بالا باعث از بین رفتن

ویتامین ث موجود در نمونه‌های سماق شده است. کاهش ویتامین ث، ناشی از قرارگیری بیشتر محصول در داخل خشک‌کن و افزایش شدت تابش لامپ‌ها بوده است، در نتیجه سبب تغییر ماهیت محصول و آسیب‌های حرارتی شده است. به طور کلی دماهای بالا بر کمیت و کیفیت خواص فیتوشیمیایی گیاهان دارویی و معطر تاثیرگذار است. این تاثیر نه فقط در دوره خشک‌کردن بلکه در دوره انبارداری هم ادامه دارد و سبب کاهش میزان مواد موثره می‌شود. نتایج مشابهی در منابع مختلف گزارش شده است (۱۸).

جدول ۱- آنالیز واریانس اثر شدت تابش و سرعت جریان هوا بر خواص کیفی میوه سماق در خشک‌کن مادون قرمز

Table 1- ANOVAfor the effect of radiation intensity and air velocity on quality characteristics of sumac fruit in infrared dryer

منابع تغییر Source of variations	درجه آزادی df	زمان خشک‌شدن Drying time (min)	فنول کل Total phenol (mg/100g)	ویتامین ث Vitamin C (mg/100g)	اسیدهای آلی Organic acid (mg/100g)	تغییرات رنگ کل Total change color (ΔE)
شدت تابش Intensity of radiation (I)	2	2833.33**	0.02ns	0.04**	0.65**	1.78**
سرعت هوا (V)Air velocity	2	293.59**	0.008ns	0.35**	0.06**	0.14**
V×I	4	63.31**	0.05**	0.006*	0.07**	0.003**
خطا Error	9	2.77	0.008	0.001	0.03	0.003
ضریب تغییرات CV (%)		5.45	4.27	15.31	20.52	11.18

** ، * و ns به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم معنی‌داری

**, * and ns: significant at 1%, 5% and non-significant, respectively.

جدول ۲- اثر شدت تابش و سرعت هوا بر خواص کیفی میوه سماق

Table 2-The effect of radiation intensity and air velocity on quality characteristics of sumac fruit

تیمار Treatment (V×I) (m/s ×W/cm²)	زمان خشک‌شدن Drying time (min)	ویتامین ث Vitamin C (mg/100g)	اسیدهای آلی Organic acid (mg/100g)	رنگ کل Total change color (ΔE)
0.5×0.2	88h	0.26b	1.21c	3.26cd
0.5×0.3	53.33e	0.30c	1.24c	3.21c
0.5×0.5	41c	0.14a	0.78a	3.71e
1×0.2	72fg	0.32d	1.28c	3.11b
1×0.3	57.33e	0.31d	1.11b	3.27dc
1×0.5	37.52b	0.16a	0.84a	3.68e
1.5×0.2	71.33f	0.28c	1.38d	2.9a
1.5×0.3	50.42d	0.28cd	1.11cb	3.68a
1.5×0.5	36a	0.16a	0.85a	3.85f

*وجود حروف مشترک بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار ارقام در سطح احتمالیک درصد در هر ستون بر طبق آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

*Means followed by the same letters in each column are not significantly at 1 % according to Duncan's multiple rang test.

V و I به ترتیب سرعت هوا و شدت تابش مادون قرمز می باشند.

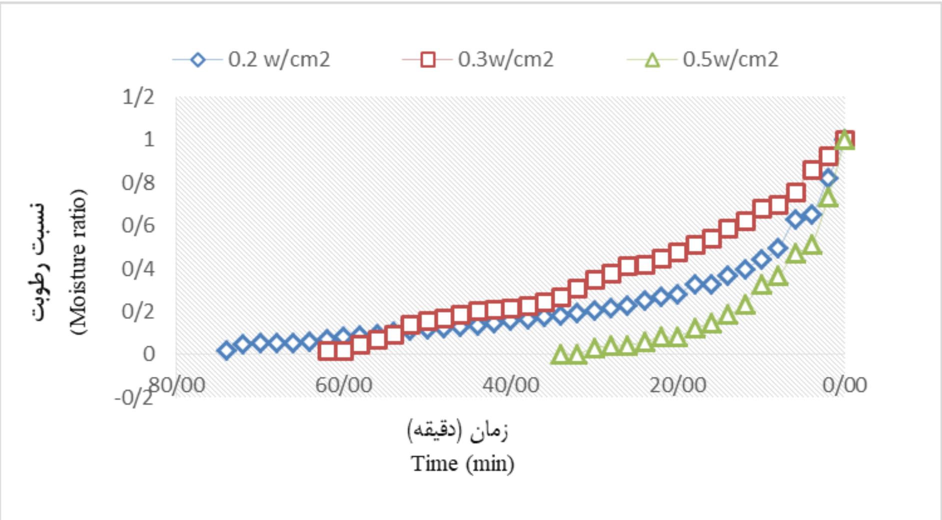
V and I are the incoming air velocity and infrared intensity, respectively.

بهینه‌سازی خشک کردن مادون قرمز

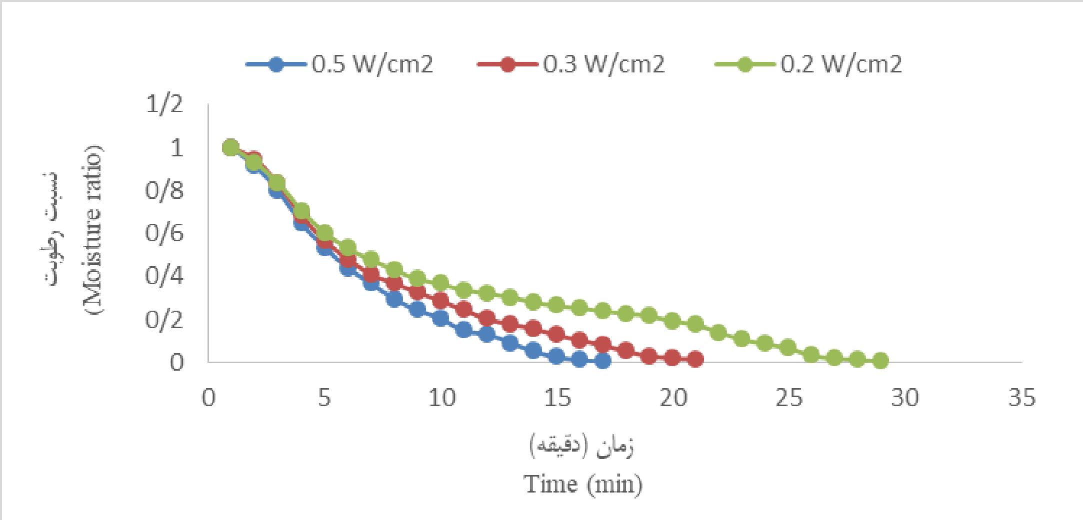
نقطه بهینه که نرم افزار برای خشک‌کن مادون قرمـز مشـخص کرد (جدول ۳)، در صورتی که شدت تابش لامـپ‌هـا ۰/۳ W/cm² و سرعت هـوا ۰/۵ m/s تنظـیم شـود، بهتـرین نقطـه از نظر کمتـرین تغییرات رنگ و بیشترین مقدار خواص شـیمیایی بـه دسـت آمـد کـه دارای بـالاترین شـاخص مطلوبیـت، ۰/۷۱ بـود. در تحقیقـی تـاثیر روش‌هـای مختلـف خشـک‌کـردن مـایکروویو، سـایه و آفتـاب بـر خصوصیات کیفی میوه سماق (زمان خشک‌شدن، تغییرات رنـگ کـل، اسیدهای آلی و ویتامین ث) (*Rhus coriaria* L.) مورد بررسی قـرار گرفت، نتایج نشان داد که بهترین نقطه خشک‌کردن سماق به وسـیله خشک‌کن مایکروویو از نظر کمتـرین زمـان خشـک‌شـدن و تغییـرات رنگ و بیشترین مواد شیمیایی در توان ۸۱۵ وات بدست آمد. در نهایت کمترین تغییرات رنگ و بیشترین مقدار اسیدهای آلی و ویتامین ث در روش خشک‌کردن سنتی در سایه مشاهده شد (۱۱).

جدول ۳- نقطه بهینه به دست آمده برای خشک‌کن مادون قرمز
Table 3- Optimized point for infrared dryer

ردیف No.	متغیر Variable	مقدار Value
1	مطلوبیت Desirability	0.71
2	تغییرات رنگ کل Total color change	2.46
3	اسیدهای آلی (mg/100g) Organic acid	1.25
4	ویتامین ث (mg/100g) Vitamin C	0.33
5	فنول کل (mg/100) Total phenol	2397.97
6	زمان خشک‌شدن (min) Drying time	182
7	سرعت جریان هوا (m/s) Air velocity	0.5
8	شدت تابش (W/cm^2) Intensity of radiation	0.3
9	سطح Surface	1



شکل ۲- خشک‌شدن سماق در خشک کن مادون قرمز در شدت تابش‌های مختلف و سرعت هوای ۱/۵ متر بر ثانیه
Figure 2- Drying in an infrared dryer at different intensities of radiation and air velocity of 1.5 m/s



شکل ۳- خشک شدن سماق در خشک کن مادون قرمز در شدت تابش های مختلف و سرعت هوای 1 m/s

Figure 3- Drying in an infrared dryer at different intensities of radiation and air speed of 1 m/s

نتیجه‌گیری

خشک‌کن مادون قرمز سبب کاهش زمان خشک‌شدن میوه سماق نسبت به روش خشک‌کردن سنتی سایه و آفتاب شد. از طرفی میزان اسیدهای آلی و ویتامین ث میوه سماق در خشک‌کردن به این روش در مقادیر بالایی نسبت به روش خشک‌کردن به وسیله خشک کن مایکروویو، حفظ شد. افزایش شدت تابش لامپهای مادون قرمز اگر چه باعث افزایش سرعت خشک‌شدن و کاهش مدت زمان آن گردید، اما افزایش تغییرات رنگ را نیز در پی داشت. افزایش شدت تابش لامپها باعث کاهش خواص فیتوشیمیایی (اسیدهای آلی و ویتامین ث) موجود در سماق گردید. شدت تابش ۰/۳ W/cm^2 و سرعت هوا ۰/۵ m/s بهترین نقطه برای خشک‌کردن میوه سماق بر اساس پارامترهای بررسی شده در این تحقیق بود.

منابع

1- Aghbashlo M., Kanmehr M., and Samimi-Akhijahani H. 2008. Influence of drying conditions on the effective moisture diffusivity. Energy of activation and energy consumption during the thin layer drying of Berberis fruit *(Berberidaceae*). Energy Conversion and Management 49: 2865-2871.
2- Amiri Chayjan R., Tatabaei Bahrabad S.M., and Rahimi S.F. 2013. Modeling infrared-covective drying of pistachio nuts under fixed and fluidized bed conditions. Journal of Food Process 38(3): 1224-1233.
3- Bagheri S., Muhd Julkapli N., and Bee Abd Hamid S. 2014. Titanium dioxide as a catalyst support in heterogeneous catalysis. The Scientific World Journal 1-21.
4- Baysal T., Icier F., Ersus S., and Yildiz H. 2003. Effects of microwave and infrared drying on the quality of carrot and garlic. European Food Research and Technology 218: 68-73.
5- Bezerra M.A., Santelli R.E., Oliveira E.P., Villar L.S., and Escaleira L.A. 2008. Response surface methodology (RSM) as a tool for optimization in analytical chemistry. Talanta 76(5): 965-977.
6- Caliskan G., and Dirim S.N. 2013. The effects of the different drying conditions and the amounts of maltodextrin addition during spray drying of sumac extract. Food and Bioproducts Processing 91(4): 539-548.
7- Das I., Das S.K. and Bal S. 2004. Specific energy and quality aspects of infrared (IR) dried parboiled rice. Journal of Food Engineering 62: 9-14.
8- Dwivedy S., Rayaguru1 K. and Sahoo G.R. 2012. Effect of drying methods on quality characteristics of medicinal Indian borage (*Coleus aromaticus*) leaves. Journal of Food Process Technology 3: 188-194.
9- Delgado B., Palop A. and Fenandez P.S. 2004. Combined effect of thymol and cymene to control the growth of *Bacillus cereus* vegetative cells. European Food Research and Technology 218(3): 188-193.
10- Hamrouni Sellami I., Wannes W.A., Bettaieb Rebey I., Berrima S., Chahed T., Marzouk B. and Limam F. 2011. Qualitative and quantitative changes in the essential oil of *Laurus nobilis* L. leaves as affected by different drying methods. Food Chemistry 126(2): 691-697.
11- Hasani A., Khoshtaghaza M.H. and Ebadi M.T. 2019. Effect of different drying methods (microwave drying, shade and sun drying) on the quality of sumac fruit (*Rhus coriaria* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research 36(1): 142-154. (In Persian with English abstract)

12- Hebbar H.U., Viswanathan K.H. and Ramesh M.N. 2004. Development of combined infrared and hot air dryer for vegetables. Journal of Food Engineering 65(4): 557-563.
13- Jun S., Krishnamurthy K., Irudayaraj J. and Demirci A. 2011. Fundamentals and theory of infrared radiation. In, Pan, Z. Atungulu, G. G. (Eds.). Infrared Heating for Food and Agricultural Processing. CRC press, New York.
14- Kantrong H., Tansakul A. and Mittal G.S. 2014. Drying characteristics and quality of shiitake mushroom undergoing microwave-vacuum drying and microwave-vacuum combined with infrared drying. Journal of Food Science and Technology 51(12): 3594-3608.
15- Khayyat S.A. and Roselin L.S. 2018. Recent progress in photochemical reaction on main components of some essential oils. Journal of Saudi Chemical Society 22(7): 855-875.
16- Khir R., Pan Z., Salim A., Hartsough B.R. and Mohamed S. 2011. Moisture diffusivity of rough rice under infrared radiation drying. LWT - Food Science and Technology 44: 1126-1132.
17- Kizil S., and Turk M. 2010. Microelement contents and fatty acid compositions of Rhus coriaria L. and Pistacia terebinthus L. fruits spread commonly in the south eastern Anatolia region of Turkey. Natural Product Res 24: 92-98.
18- Koller W.D. 1987. Proceeding of the fifth Int. Flavour Conference, Porto Karras. Chalkidiki, Greece. Problems with the Flavour of Herbs and Spices 123-132.
19- Miranda M., Maureira H., Rodriguez K. and Vegalvez A. 2008. Influence of temperature on the drying kinetics, physicochemical properties, and antioxidant capacity of *Aloe vera* (*Aloe barbadensis Miller*) gel. Journal of Food Engineering 91: 297-304.
20- Mujumdar A.S. 2006. Handbook of Industrial Drying. CRC Press, New York.
21- Mohajeran S., Khoushtaghaza M.H. and Moazami Goudarzi A. 2003. Effect of rough rice temperature and air velocity on grain crack during infrared radiation drying. Iranian Journal of Food Science and Technology 3(2): 57-65. (In Persian with English abstract)
22- Mumivand H., Rezaei Nejad A.H., Taghipour S., Sepahvand K. and Moradi B. 2019. Effect of different drying methods on drying time and some phytochemical characteristic of pelargonium (*Pelargonium graveolens*). Journal of Horticulture Science 33(4): 655-668. (In Persian with English abstract)
23- Motevali A., Minaei S., Banakar A., Ghobadian B and Khoshtaghaza M.H. 2014. Comparison of energy parameters in various dryers. Energy Conversion and Management 87: 711-725.
24- Musci M., and Yao S. 2017. Optimization and validation of Folin_Ciocalteu method for the determination of total polytionol content of Puerh tea. International Journal of Food Sciences and Nutrition 68(8):913-918.
25- Nadjafi F., Ebadi M.T. and Abbasian J. 2012. Medicinal and Aromatic Crops: Harvesting, Drying and Processing (Translation). Shahid Beheshti University Press, Tehran, 380p. (In Persian with English abstract)
26- Nielson S.S. 2010. Food Analysis. Spiringer, New York.
27- Ozcan M., and Erkmen O. 2001. Antimicrobial activity of the essential oil of Turkish plant spices. European Food Research and Technology 212(1): 658-660.
28- Paakkonen K., Havento J. and Galambosi B. 1999. Infrared drying of herbs (Research Note). Agricultural and Food Science 8(1): 19-27.
29- Ponkham K., Meeso N., Soponronnarit S. and Siriamornpun S. 2012. Modeling of combined far-infrared radiation and air drying of a ring shaped-pineapple with/without shrinkage. Food and Bioproducts Processing 90(2): 155-164.
30- Raghavan B., Rao L.J., Singh M. and Abraham K.O. 1997. Effect of drying methods on the flavor quality of marjoram (*Origanum majorana* L.). Nahrung 41(3): 159-161.
31- Rahmati M., Azizi M., Ebadi M.T., and Hasanzadeh Khayyat M. 2010. Study on the effects of different drying methods on weight loss rate, essential oil and chamazolene contents of chamomile (*Matricaria recutita* CV. Germania (Diploid)) flowers. Journal of Horticulture Science 24(1):29-37. (In Persian with English abstract)
32- Reyna S. and Mazza G. 2007. Biological activities of extracts from sumac (*Rhus* spp.) a review. Plant Foods for Human Nutrition 62: 165-175.
33- Salehi F., Kashaninejad M., Sadeghi Mahoonak A., and Ziaiifar A. 2015. Button Mushroom Drying Process by Infrared System. Innovative Food Science and Technologies 13: 99-101. (In Persian with English abstract)
34- Samani B.H., Gudarzi H., Rostami R., Esmaeili Z., and Jamshidi-kia F. 2018. Development and optimization of the new ultrasonic-infrared-vacuum dryer in drying Kelussia odoratissima and its comparison with conventional methods. Industrial Crops and Products 123: 46-54.
35- Seyed Abadi M.M., Aghajanzadeh Soorki S., Kashani Nezhad M. and Ziyai Far A.M. 2016. Investigation of the effect of microwave on some physicochemical properties of sour orange juice. Journal of Food Scientist Technology 14(62): 17-29.
36- Shahabi M., Rafiee S., Mohtasebi S.S., and Hosseinpour S. 2014. Image analysis and green tea color change kinetics during thin-layer drying. Food Science and Technology International 20: 465-476.
37- Strumillo C. and Kudra T. 1987. Drying Principles, Applications and Design. Gordon and Breach Science Publisher, USA.

38- Therdthai N. and Zhou W. 2009. Characterization of microwave vacuum drying and hot air drying of mint leaves (*Mentha cordifolia* Opiz ex Fresen). Journal of Food Engineering 91(3): 482-489.

39- Wang J. and Xi Y.S. 2005. Drying characteristics and drying quality of carrot using a two-stage microwave process. Journal of Food Engineering 68: 505–511.

Journal of Horticultural Science
Vol. 34, No.3, Fall 2020, P. 493-504
ISSN: 2008 - 4730

نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص. ۵۰۴-۴۹۳
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

Effect of Infrared Drying on Qualitative Characteristics of Sumac Fruit (*Rhus coriaria* L.)

A. Hasani[1]- M.H. Khoshtaghaza*[2]- M.T. Ebadi[3]

Received: 22-01-2020
Accepted: 31-08-2020

Introduction: Drying of medicinal and aromatic plants (MAPs) is a widely spread method offering physico-chemical stabilization by taking away part of the moisture content, producing different products with different qualitative properties and economical value. The main purpose of MAPs drying is to extend product shelf life, minimize packaging requirements and reduce shipping weights. Drying is used to stop the growth of microorganisms and preserve the quality of MAPs. There are different drying methods and their suitability can be determined by energy efficiency, drying time, preservation of active substances and other quality properties of the product, depending on market demand. Therefore, determining a suitable drying method to achieve higher active substances in medicinal plants is very important. Advantages of infrared drying include high efficiency of conversion of electrical energy into heat, a suitable alternative source for thermal energy, and uniform heating of the product surface. The aim of this study was to investigate the effect of infrared drying on drying time and the qualitative characteristics of sumac fruit (total color changes, total phenolic content, organic acids, and vitamin C).

Material and Methods: Sumac fruits (from the forests of Sardasht city in West Azerbaijan Province, Iran) were used after complete separation from clusters and additional parts for drying and performing the desired treatments. In this research, an infrared dryer was used to dry the sumac sample which was made by the Department of Biosystems Engineering of Tarbiat Modares University. For this study, a factorial experiment was performed based on a completely randomized design. In this experiments, three levels of radiation intensity (0.2, 0.3 and 0.5 watts per square centimeter) and three levels of air velocity (0.5, 1 and 1.5 meters per second) were used. The sample tray inside the dryer was connected by a rod to a digital scale at the bottom of the dryer. The scale had a computer connection port that could measure and record the weight of the fruits continuously during drying. To determine the initial moisture content, 3 samples (50 g) were placed in an oven at 105 °C and after three hours, the samples were taken out of the oven and weighed, and finally the moisture content of the product was calculated on wet basis. The initial moisture content of sumac fruits was approximately 17%. Drying was continued until the product reached a moisture content of 7%. Drying time and quality characteristics of sumac fruit (color changes, total phenolic content, organic acids, and vitamin C) were measured. Colorimeter (Hunterlab, Color Flex model, USA) was used to check the color changes of sumac fruits during drying and the total color changes (ΔE) compared to the fresh sample were calculated. To measure the total phenolic content, Folin-Ciocalteu phenol reagent was used by a spectrophotometer (Samsung, Smart Spec Flus model, South Korea). Titration method was used to measure vitamin C and organic acids. Finally, based on all the mentioned parameters, the optimization was performed by Design Expert software (version 10) and the best score was obtained based on the utility index.

Results and Discussion: The results showed that the intensity of infrared radiation and air velocity had a significant effect on the studied characteristics except total phenolic content. The minimum and maximum drying times were obtained at the highest and lowest infrared intensities and air velocities, respectively. Increasing the infrared intensity and subsequently increasing the temperature had a negative effect on the total color changes, organic acids and vitamin C, so that the least total color changes and the highest amount of organic acids and vitamin C were obtained by reducing the intensity of infrared radiation. The lowest total color change and the highest amount of organic acids were obtained in the treatment of 0.2 W cm^{-2} × 1.5 m s^{-1} and the highest amount of vitamin C in 0.2 W cm^{-2} × 1 m s^{-1} and 0.3 W cm^{-2} × 0.5 m s^{-1} treatments, respectively. The values obtained from the optimization parameters for the studied indicators (drying time, total color changes, organic acids, and vitamin C) showed that the best point for drying of sumac fruit was the infrared radiation intensity of 0.3 W cm^{-2} and air velocity of 0.5 m s^{-1}. In this treatment, the highest utility index obtained by

1 and 2- Graduated Student and Professor, Department of Biosystems Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: khoshtag@modares.ac.ir)
3- Assistant Professor, Department of Horticultural Science, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

software was 0.71.

Conclusion: Infrared drying reduced the drying time of sumac fruit compared to traditional drying methods (shade and sun drying). In addition to reducing the drying time, infrared drying was a suitable method for preserving the phytochemical properties and color changes of sumac fruits.

Keywords: Organic acids, Total color changes, Total phenol, Vitamin C